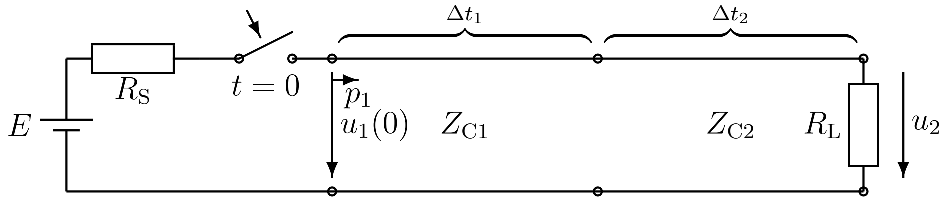
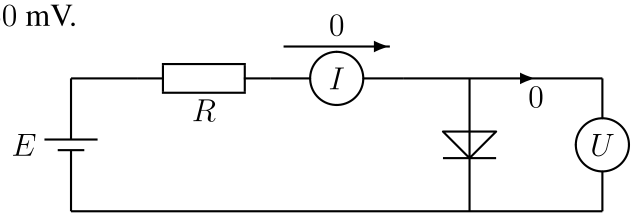
ELEC–C4210 SÄHKÖTEKNIIKKA JA ELEKTRONIIKKA Kimmo Silvonen

2. välikoe 8.12.2014. Tehtävät 1–5. **Saat vastata vain neljään tehtävään!**
Sallitut: Kako, [gr.] laskin, [MAOL], [sanakirjan käytöstä on sovittava valvojan kanssa!]

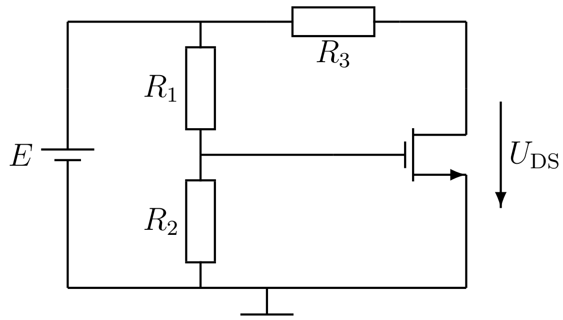
1. Tasajännitelähde liitetään ensimmäiseen siirtojohtoon hetkellä $t = 0$. Johdolle Z_{C1} lähtee aalto, jonka kuljettama teho on $p_1 = u_1(0) \cdot \frac{u_1(0)}{Z_{C1}} = 2$ W. Laske jännite $u_2(\infty)$. $R_S = 50\ \Omega$, $Z_{C1} = 50\ \Omega$, $Z_{C2} = 75\ \Omega$, $R_L = 75\ \Omega$, $\Delta t_1 = \Delta t_2 = 10\ \mu$s.



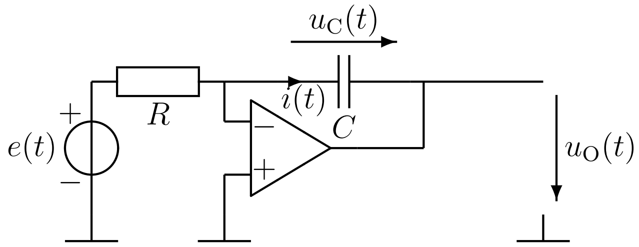
2. Diodin jännite U on tasan 0,7 V, kun $I_S = 0{,}7$ nA. Paljonko U muuttuu, jos I_S kaksinkertaistuu? $R = 120\ \Omega$, $nU_T = 50$ mV.



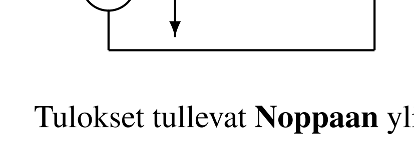
3. Millä E:n arvolla FET on TRI- ja SAT-alueiden rajalla? $R_1 = 10$ kΩ, $R_2 = 20$ kΩ, $R_3 = 10$ kΩ, $U_t = 2$ V, $K = 0{,}1\ \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$.

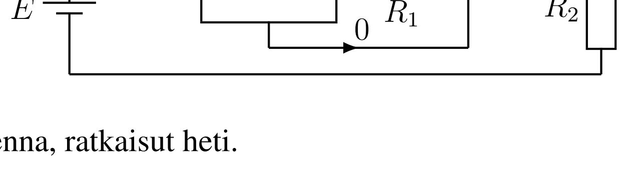


4. Kondensaattorin jännite on muotoa: $u_C(t) = \frac{1}{C}\int_0^t i(t)\mathrm{d}t + u_C(0)$. Laske piirin lähtöjännite $u_O(t)$, kun $e(t) = (-0{,}1 + 1 \cdot \sin \omega t)$ V, $\omega = 10\ \frac{\text{rad}}{\text{s}}$, $R = 10$ kΩ, $C = 1\ \mu$F, $u_C(0) = 0$.



5. Jos lasket tämän tehtävän, jätä yksi tehtävistä 1–4 pois! Mikä on suurin sallittu jännite E, jolla regulaattorin ytimen lämpötila T_J pysyy alle 125 asteessa? Ympäristön lämpötila on $T_A = 25$ °C? $R_1 = 14\ \Omega$, $R_2 = 2{,}8\ \Omega$, $\theta_{JA} = 35$ °C/W, $T_{JMAX} = 125$ °C.

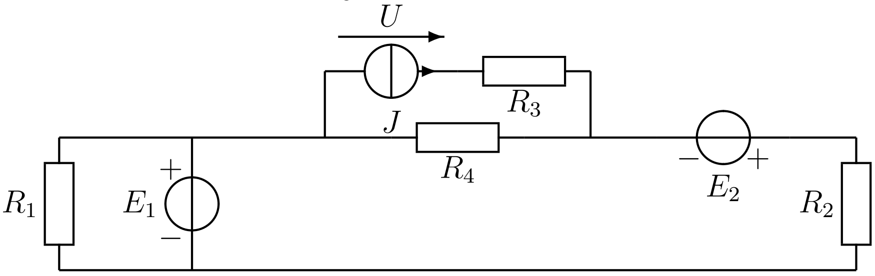




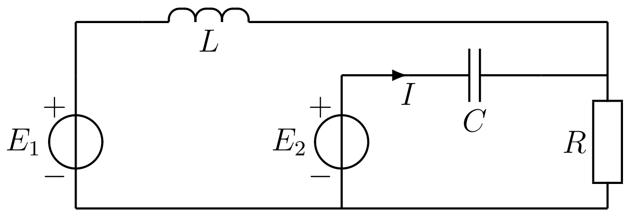
Tulokset tullevat **Noppaan** ylihuomenna, ratkaisut heti.

Tentti 8.12.2014. **Tehtävät 6 ja 7 (molemmat) sekä kaksi seuraavista: 1, 3, 4**
Sallitut: Kako, [gr.] laskin, [MAOL], [sanakirjan käytöstä on sovittava valvojan kanssa!]

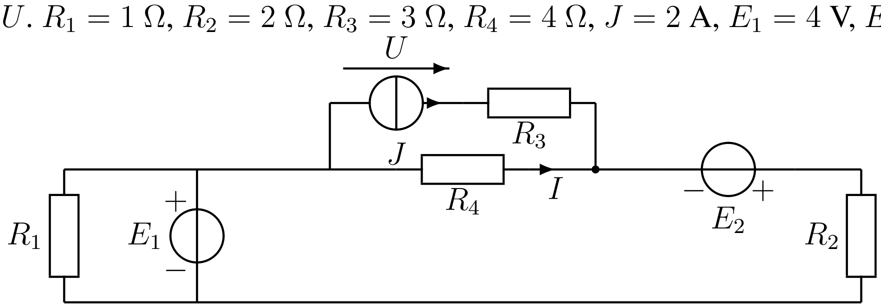
6. Laske jännite U. $R_1 = 1\ \Omega$, $R_2 = 2\ \Omega$, $R_3 = 3\ \Omega$, $R_4 = 4\ \Omega$, $J = 2$ A, $E_1 = 4$ V, $E_2 = 6$ V.



7. Laske virta I. $E_1 = 10\angle 0°$ V, $E_2 = 20\angle 90°$ V, $R = 4\ \Omega$, $L = 0{,}2$ H, $C = 0{,}05$ F, $\omega = 10\ \frac{\text{rad}}{\text{s}}$.



6. Laske jännite U. $R_1 = 1\ \Omega$, $R_2 = 2\ \Omega$, $R_3 = 3\ \Omega$, $R_4 = 4\ \Omega$, $J = 2$ A, $E_1 = 4$ V, $E_2 = 6$ V.



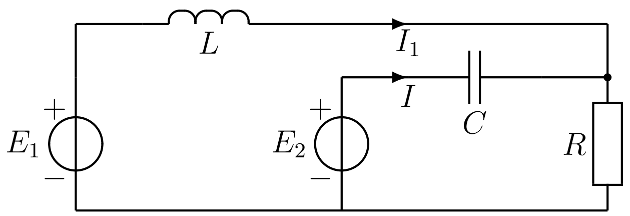
$$U + R_3 J - R_4 I = 0 \Rightarrow I = \frac{U + R_3 J}{R_4} \tag{1}$$

$$-E_1 + R_4 I - E_2 + R_2(I + J) = 0 \tag{2}$$

$$-E_1 + (R_4 + R_2)\frac{U + R_3 J}{R_4} - E_2 + R_2 J = 0 \tag{3}$$

$$U = \frac{E_1 + E_2 - R_2 J - \frac{R_4 + R_2}{R_4} R_3 J}{\frac{R_4 + R_2}{R_4}} = -2\ \text{V} \tag{4}$$

7. Laske virta I. $E_1 = 10\angle 0°$ V, $E_2 = 20\angle 90°$ V, $R = 4\ \Omega$, $L = 0{,}2$ H, $C = 0{,}05$ F, $\omega = 10\ \frac{\text{rad}}{\text{s}}$.



$$\begin{cases} -E_1 + \mathrm{j}\omega L I_1 + R(I + I_1) = 0 \Rightarrow I_1 = \frac{E_1 - RI}{\mathrm{j}\omega L + R} \\ -E_2 + \frac{1}{\mathrm{j}\omega C} I + R(I + I_1) = 0 \end{cases} \tag{5}$$

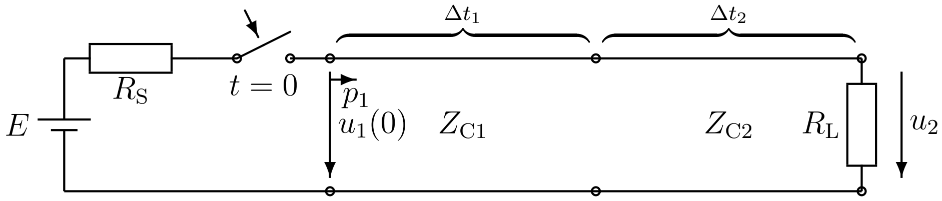
$$-E_2 + \left(\frac{1}{\mathrm{j}\omega C} + R\right) I + R\,\frac{E_1 - RI}{\mathrm{j}\omega L + R} = 0 \tag{6}$$

$$-20\mathrm{j} + \left(\frac{1}{\mathrm{j}0{,}5} + 4\right) I + 4\,\frac{10 - 4I}{\mathrm{j}2 + 4} = 0 \tag{7}$$

$$-20\mathrm{j}(\mathrm{j}2+4)+(-2\mathrm{j}+4)(\mathrm{j}2+4)I+4(10-4I)=0 \tag{8}$$

$$I=\frac{20\mathrm{j}(\mathrm{j}2+4)-40}{(-2\mathrm{j}+4)(\mathrm{j}2+4)-16}=\frac{-80+80\mathrm{j}}{20-16}=-20+20\mathrm{j}=28{,}3\angle 135^\circ\ \mathrm{A} \tag{9}$$

1. Tasajännitelähde liitetään ensimmäiseen siirtojohtoon hetkellä $t=0$. Johdolle Z_{C1} lähtee aalto, jonka kuljettama teho on $p_1=u_1(0)\cdot\frac{u_1(0)}{Z_{\mathrm{C1}}}=2$ W. Laske jännite $u_2(\infty)$. $R_\mathrm{S}=50\ \Omega$, $Z_{\mathrm{C1}}=50\ \Omega$, $Z_{\mathrm{C2}}=75\ \Omega$, $R_\mathrm{L}=75\ \Omega$, $\Delta t_1=\Delta t_2=10\ \mu$s.



Tasavirralla loppuarvo saadaan jättämällä siirtojohdot välistä pois:

$$u_1(0)=\pm\sqrt{p_1 Z_{\mathrm{C1}}}=\pm 10\ \mathrm{V} \tag{10}$$

$$u_1(0)=\frac{Z_{\mathrm{C1}}}{R_\mathrm{S}+Z_{\mathrm{C1}}}E\Rightarrow E=\frac{100}{50}u_1(0)=\pm 20\ \mathrm{V} \tag{11}$$

$$u_2(\infty)=\frac{R_\mathrm{L}}{R_\mathrm{S}+R_\mathrm{L}}E=12\ \mathrm{V} \tag{12}$$

Siirtojohtoteoria:

$$\tau_{21}=\frac{2Z_{\mathrm{C2}}}{Z_{\mathrm{C1}}+Z_{\mathrm{C2}}}=\frac{150}{125}=\frac{6}{5} \tag{13}$$

Jos kokeen osallistujien kesken järjestettäisiin äänestys, paljonko on $\frac{6}{5}$ desimaalilukuna, $1{,}25$ voittaisi kirkkaasti — kyllä kansa tietää!

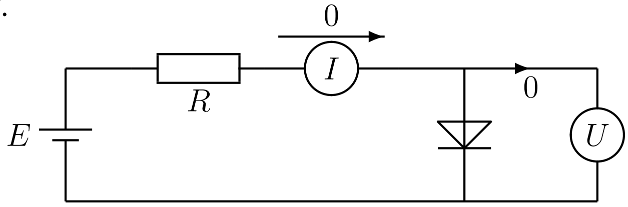
$$\tau_2=\frac{2R_\mathrm{L}}{Z_{\mathrm{C2}}+R_\mathrm{L}}=\frac{150}{150}=1 \tag{14}$$

$$\rho_{21}=\frac{Z_{\mathrm{C2}}-Z_{\mathrm{C1}}}{Z_{\mathrm{C2}}+Z_{\mathrm{C1}}}=\frac{25}{175}=\frac{1}{7} \tag{15}$$

$$\rho_1=\frac{R_\mathrm{S}-Z_{\mathrm{C1}}}{R_\mathrm{S}+Z_{\mathrm{C1}}}=0 \qquad \rho_2=\frac{R_\mathrm{L}-Z_{\mathrm{C2}}}{R_\mathrm{L}+Z_{\mathrm{C2}}}=0 \tag{16}$$

$$u_2(\Delta t_1+\Delta t_2)=u_1(0)\tau_{21}\tau_2=12\ \mathrm{V} \tag{17}$$

2. Diodin jännite U on tasan $0{,}7$ V, kun $I_\mathrm{S}=0{,}7$ nA. Paljonko U muuttuu, jos I_S kaksinkertaistuu? $R=120\ \Omega$, $nU_T=50$ mV.



$$-E+RI_2+U_2=0 \tag{18}$$

$$-E+RI_1+U_1=0\Rightarrow E=R\overbrace{I_\mathrm{S}\left(\mathrm{e}^{14}-1\right)}^{I_1=841{,}8\,\mu\mathrm{A}}+U_1=0{,}801\ \mathrm{V} \tag{19}$$

$$R(I_2-I_1)+U_2-U_1=0 \tag{20}$$

$$U_2=0{,}7-RI_\mathrm{S}(2\mathrm{e}^{20U_2}-2-\mathrm{e}^{14}+1) \tag{21}$$

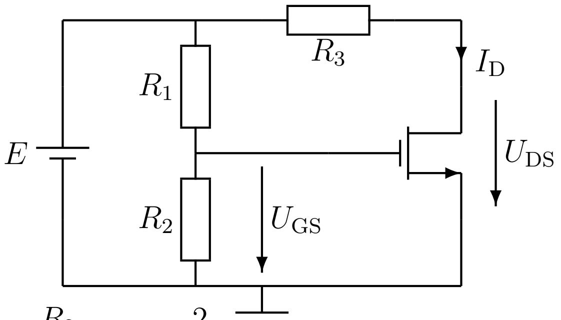
$$U_2\approx 676\ \mathrm{mV} \tag{22}$$

$$U_2-U_1\approx -24\ \mathrm{mV} \tag{23}$$

$$\left(I_2=\frac{E-U_2}{R}=1{,}0418\ \mathrm{mA}\right) \tag{24}$$

Tehtävän pointtina on se, että melko suuretkaan muutokset saturaatiovirran arvossa eivät hirveästi muuta diodin jännitettä ja virtaa käytännön piireissä. I_S:n muutokset ovat yksilöeroja sekä lämpötilan muuttumisesta johtuvia muutoksia. Huomaa, että $I_2 \neq I_1$, mutta epälineaarisuuden takia myös $I_2 \neq 2I_1$. Vastus kompensoi I_S:n muutoksen vaikutusta U:hun.

3. Millä E:n arvolla FET on TRI- ja SAT-alueiden rajalla? $R_1 = 10$ kΩ, $R_2 = 20$ kΩ, $R_3 = 10$ kΩ, $U_\mathrm{t} = 2$ V, $K = 0{,}1\ \frac{\mathrm{mA}}{\mathrm{V}^2}$.



$$U_\mathrm{GS} = V_\mathrm{G} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}\,E = \frac{2}{3}\,E \tag{25}$$

$$U_\mathrm{DS} = E - R_3 I_\mathrm{D} \tag{26}$$

$$I_\mathrm{D} = K(U_\mathrm{GS} - U_\mathrm{t})^2 \tag{27}$$

TRI/SAT-rajalla:

$$U_\mathrm{DS} = U_\mathrm{GS} - U_\mathrm{t} \tag{28}$$

$$U_\mathrm{DS} = E - R_3 K\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2}\,E - U_\mathrm{t}\right)^2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}\,E - U_\mathrm{t} \tag{29}$$

$$E - 1\cdot\left(\frac{2}{3}\,E - 2\right)^2 = \frac{2}{3}\,E - 2 \tag{30}$$

$$E - \left(\frac{4}{9}\,E^2 - \frac{8}{3}\,E + 4\right) = \frac{2}{3}\,E - 2 \tag{31}$$

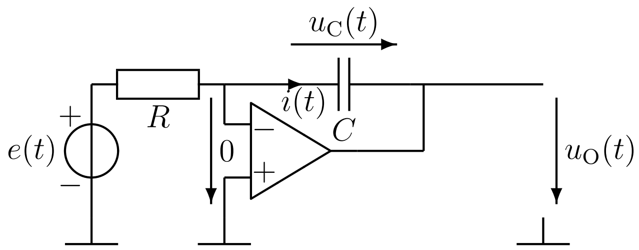
$$0 = -E + \frac{4}{9}\,E^2 - \frac{8}{3}\,E + 4 + \frac{2}{3}\,E - 2 \tag{32}$$

$$\frac{4}{9}\,E^2 - 3\,E + 2 = 0 \tag{33}$$

$$E = \frac{3 \pm \sqrt{3^2 - 4\cdot\frac{4}{9}\cdot 2}}{2\cdot\frac{4}{9}} = 6\ \mathrm{V} \tag{34}$$

Pakko valita tämä juuri, koska miinusmerkki veisi U_GS:n pienemmäksi kuin U_t!

4. Kondensaattorin jännite on muotoa: $u_\mathrm{C}(t) = \frac{1}{C}\int_0^t i(t)\mathrm{d}t + u_\mathrm{C}(0)$. Laske piirin lähtöjännite $u_\mathrm{O}(t)$, kun $e(t) = (-0{,}1 + 1\cdot\sin\omega t)$ V, $\omega = 10\ \frac{\mathrm{rad}}{\mathrm{s}}$, $R = 10$ kΩ, $C = 1\ \mu$F, $u_\mathrm{C}(0) = 0$.



$$-e + Ri + 0 = 0 \Rightarrow i = \frac{e - 0}{R} \tag{35}$$

$$u_\mathrm{C}(t) = \frac{1}{C}\int_0^t \frac{e}{R}\,\mathrm{d}t + \overbrace{u_\mathrm{C}(0)}^{0} \tag{36}$$

$$-0 + u_\mathrm{C} + u_\mathrm{O} = 0 \Rightarrow u_\mathrm{O} = -\frac{1}{RC}\int_0^t e\,\mathrm{d}t \tag{37}$$

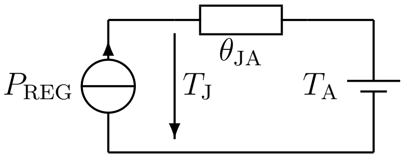
Lähtöjännite on siis verrannollinen tulojännitteen integraaliin. Osoitinlaskentaa ei nyt hyödytä käyttää, koska tässä ei olla kiinnostuneita toiminnasta taajuuden vaan ajan funktiona. Sijoitetaan tulojännitteen lauseke:

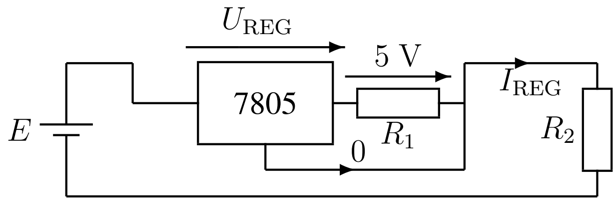
$$u_{\mathrm{O}} = -\frac{1}{RC}\int_0^t (-0{,}1 + \sin\omega t)\,\mathrm{d}t = -\frac{1}{RC}\Big/_0^t(-0{,}1t - \frac{1}{\omega}\cos\omega t)\,\mathrm{d}t \tag{38}$$

$$= \frac{0{,}1}{CR}\,t + \frac{1}{\omega CR}(\cos\omega t - \cos 0) \tag{39}$$

$$u_{\mathrm{O}} = 10t + 10\cdot\cos\omega t - 10\ \mathrm{V} \tag{40}$$

5. Jos lasket tämän tehtävän, jätä yksi tehtävistä 1–4 pois! Mikä on suurin sallittu jännite E, jolla regulaattorin ytimen lämpötila T_{J} pysyy alle 125 asteessa ympäristön lämpötilassa $T_{\mathrm{A}} = 25$ °C? $R_1 = 14\ \Omega$, $R_2 = 2{,}8\ \Omega$, $\theta_{\mathrm{JA}} = 35$ °C/W, $T_{\mathrm{JMAX}} = 125$ °C.





$$P_{\mathrm{REG}} = \frac{T_{\mathrm{J}} - T_{\mathrm{A}}}{\theta_{\mathrm{JA}}} = \frac{100}{35} \tag{41}$$

$$I_{\mathrm{REG}} = \frac{5}{R_1} = \frac{5}{14}\ \mathrm{A} \tag{42}$$

$$P_{\mathrm{REG}} = U_{\mathrm{REG}} I_{\mathrm{REG}} \Rightarrow U_{\mathrm{REG}} = \frac{P_{\mathrm{REG}}}{I_{\mathrm{REG}}} \tag{43}$$

$$U_{\mathrm{REG}} = E - 5 - R_2 I_{\mathrm{REG}} \tag{44}$$

$$\Rightarrow E = U_{\mathrm{REG}} + 5 + R_2 I_{\mathrm{REG}} = \frac{P_{\mathrm{REG}}}{I_{\mathrm{REG}}} + 5 + R_2 I_{\mathrm{REG}} = 13\ \mathrm{V} + R_2 I_{\mathrm{REG}} \tag{45}$$

$$= 14\ \mathrm{V} \tag{46}$$

Tämä on yksinkertainen tapa tehdä vakiovirtalähde: I_{REG} ei muutu, vaikka R_2 muuttuisi. Huonona puolena on korkea jännitehäviö E:n ja R_2:n välillä, esim. 3,3 voltin regulaattorilla yleensä käytännössä vähintään viiden voltin luokkaa.

$\theta_{\mathrm{JA}} = 35$ °C/W vastaa TO-3 -koteloisen regulaattorin lämpöresistanssia silloin, kun sitä ei ole kiinnitetty jäähdytysripaan.